

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03447

研究課題名(和文) 低対称磁性サイトを持つ金属間化合物における奇パリティ多極子と電気磁気効果の研究

研究課題名(英文) Magnetolectric effect study of metallic compound with ferro toroidal state

研究代表者

本山 岳 (MOTOYAMA, Gaku)

島根大学・学術研究院理工学系・准教授

研究者番号：20360050

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：奇パリティ多極子に由来すると考えられる電流誘起磁化を示すCe₃TiBi₅化合物の姉妹物質において電気磁気効果現象の探索を行った。非線形伝導現象と断定できる結果の観測には至らなかったが、新しく電気磁気効果を示す化合物の発見やこの系の電気磁気効果にはBiが大きな役割を果たしていることが明らかになった。

Ce₃TiBi₅では磁気秩序状態において困難軸で磁化率の減少が観測されている。この異常な振舞の類似がCe₃TiSb₅の圧力下で観測される。元々Ce-Ce間距離が短いCe₃TiSb₅の圧力下で観測されるため、異方的な圧力効果や圧力によるCe-Ce間の交換相互作用の強化が原因として考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

交差相関応答は対称性が低下した環境下で発現する近年注目される新しい現象であり、非対称な相互作用の解明に貢献する。一方で交差相関応答はエネルギー変換に利用可能であり、発電やセンサーとしての利用が可能である。我々の観測の成功はその環境や条件において限定的であるものの、その発現機構の解明やその定量的な評価の発達は学術的にも社会的にも寄与できる。

研究成果の概要(英文)：We have explored magnetoelectric phenomena in symmorphic compounds of Ce₃TX₅ (T = Ti, Zr and X = Sb, Bi), where the existence of current-induced magnetization due to some augmented multipoles is expected. We have successfully observed a current-induced magnetization in a new compound and clarified that Bi plays a major role in the magnetoelectric effect in these systems, although we were unable to observe results that could be conclusively determined to be a nonlinear transport phenomenon.

A decrease in magnetic susceptibility with decreasing temperature in the antiferromagnetic ordered state is observed on the only hard axis in Ce₃TiBi₅. A similar anomalous magneto-anisotropic behavior is observed under pressure in Ce₃TiSb₅. Since it is observed under pressure in Ce₃TiSb₅, which has a short Ce-Ce distance, it is thought that the cause is an anisotropic pressure effect or a strengthening of the exchange interaction between Ce and Ce due to pressure.

研究分野：低温物性

キーワード：交差相関応答 物質開発 反強磁性秩序 スピン軌道相互作用 交換相互作用 近藤効果

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々が発見した Ce_3TiBi_5 はノンシンモルフィックな対称性をもつ重い電子系反強磁性化合物であり、その Ce サイトに特徴がある。Ce は c-glide 操作によってジグザグ鎖構造を形成し、サイト自身に空間反転対称性がない。このため f 電子を基にする奇パリティ多極子秩序が実現する環境が整っている。我々はこの Ce_3TiBi_5 の反強磁性相において、図 1 および図 2 に見られるような、強トロイダル秩序状態 (奇パリティ多極子秩序) に由来すると考えられる「電流に誘起され磁場には依存しない磁化」を観測した。しかしながら、同構造を持ち姉妹化合物である Ce_3TiSb_5 では明確な電気磁気効果の観測に至っていない。

我々はこの主な原因に秩序状態における磁気構造の違い、Bi および Sb の p 電子と Ce の f 電子の混成状態におけるスピン軌道相互作用の大きさの違いを提案している。 Ce_3TiBi_5 および Ce_3TiSb_5 の常磁性相における磁化率は互いに類似した磁気異方性および温度依存性を示す。これは結晶場による f 電子の軌道が類似するためであると考えられる。しかし、磁気秩序状態における磁化率の温度依存性は大きな相違が見られ、反強磁性状態における磁気モーメント間の相互作用に顕著な差異の存在が明白である。 Ce_3TiSb_5 の反強磁性相における磁化率は、多くの Ce 化合物と同様に磁化容易軸において反強磁性転移温度以下で磁化率の減少が観測される。 Ce_3TiBi_5 の反強磁性状態では、磁気困難軸の磁化率が温度の降下に伴って小さくなり、 Ce_3TiBi_5 の反強磁性状態では磁気モーメントの向きが異なると推測できる。一方で、電気磁気効果の発現にはスピン軌道相互作用が重要な役割を果たしていることが理論的に明らかにされている。かつ、そのスピン軌道相互作用では同じ p 電子を比較した場合、原子番号が大きい Bi がより大きなスピン軌道相互作用を持つことも理論的に提案されている。

電気磁気効果の発現に関しては対称性に基づいた理論が構築されているが、その定量的な評価に関しては起源となる相互作用の化合物ごとの任意性やその幾何学的な複雑さのため未だ顕著な進展が見られない。 Ce_3TiBi_5 に代表されるこの 315 系は多くの姉妹化合物が存在するため、それぞれの磁気的性質の比較を行うことで、実現する磁気構造や電気磁気効果に果たす反スピン軌道相互作用やジャロシンスキー・守谷相互作用の役割について推測が可能である。

電気磁気効果において電流誘起磁化は 1 つの側面ではない。磁場中の非線形な伝導現象にも興味もたれているが、電流誘起磁化と同様にその観測は困難で黎明期にある。

2. 研究の目的

我々が発見した Ce_3TiBi_5 の電気磁気効果の理解、電気磁気効果の定量的な評価に向けた 315 系における電気磁気効果の比較研究、電気磁気効果のもう 1 つの側面である非線形伝導現象の観測手法の開発が本研究の見据えるところである。

上記を達成するために、(1) Ce_3TX_5 ($T = Ti, Zr, X = Sb, Bi$) を作成し、Sb 化合物と Bi 化合物における電気磁気効果の違いについて明らかにする、(2) RE_3TiBi_5 ($RE = Ce, Nd$) を作成し、c-f 混成効果が異なると期待される 2 化合物における磁気的性質および電気磁気効果の違いについて明らかにする、(3) Ce_3TiBi_5 において非線形伝導現象および非線形ホール効果の観測を行う。

3. 研究の方法

315 系化合物は Bi self-flux 法または Sn flux 法によって育成可能であることが分かっている。Sn flux 法で育成した試料には不純物として Sn が混入する。Sn の超伝導による磁化が精密な測定を必要とする電気磁気効果測定を阻害するため、Sn flux 法の育成条件の最適化もしくはその他の元素をフラックスとして用いる単結晶育成によって、電気磁気効果測定に必要な大型の単結晶試料を準備する。

電気磁気効果の測定のため、島根大総合科学研究支援センター所有のカンタムデザイン社製 MPMS および MPMS3 の磁化測定用プローブを改良し、測定試料に電流印加下における磁化測定を可能にしている。また、同 PPMS を用いた高調波成分の測定可能な交流電気抵抗測定およびホール効果測定によって、非線形伝導測定および非線形ホール効果測定を行う。

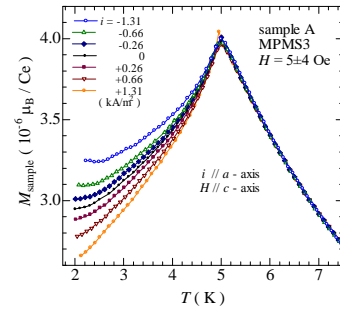


図 1 Ce_3TiBi_5 の電流印加下の磁化測定

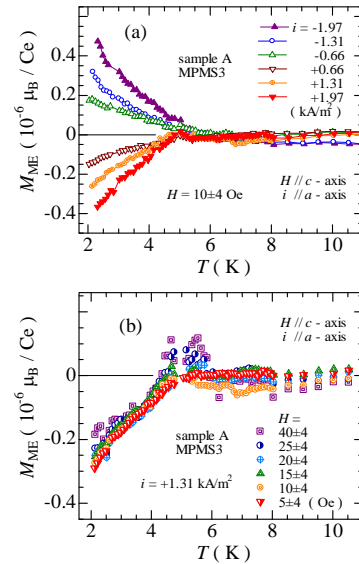


図 2 Ce_3TiBi_5 における電流誘起磁化の (a) 電流・(b) 磁場依存性

4. 研究成果

(1) Ce_3TX_5 ($T = Ti, Zr, X = Sb, Bi$)における電気磁気効果

Ce_3ZrBi_5 において、 Ce_3TiBi_5 と同様に電流に比例し磁場に依存しない磁化成分を観測し、電流誘起される磁化成分の存在を明らかにした。図3は Ce_3ZrBi_5 の反強磁性転移温度近傍の各電流印加条件下における磁化率の温度依存性である。反強磁性転移温度以下において、電流の大きさに応じた磁化率のズレが観測されている。この電流誘起磁化は、電流と垂直な方向には観測されるが、電流と平行な方向には発現しないか、もしくは非常に小さいことが明らかになっており、理論的に予測される強トロイダル状態の電流誘起磁化と一致する。

Ce_3TX_5 における電流誘起磁化測定において、 Ce_3TbBi_5 では電流誘起磁化の観測に成功し、反対に Ce_3TSb_5 では幾回かの測定の試みを行ったにもかかわらず、その観測に成功していない。 Ce_3TbBi_5 では、Biが含まれていることだけではなく共通して秩序状態における磁気モーメントの向きが面直方向にあることが特徴として挙げられる。これらのことから、電気磁気効果が実現する要因として挙げた2つの原因について、さらに絞り込むことは適わないが315系化合物の電気磁気効果の発現にはBiが重要な役割を果たしていることは提案できる。

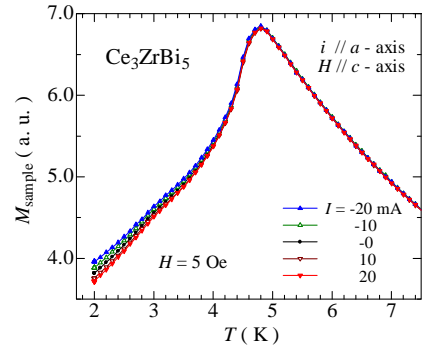


図3 Ce_3ZrBi_5 の電流印加下における磁化測定。4.8 K以下において、電流に誘起される磁化のズレが観測される。

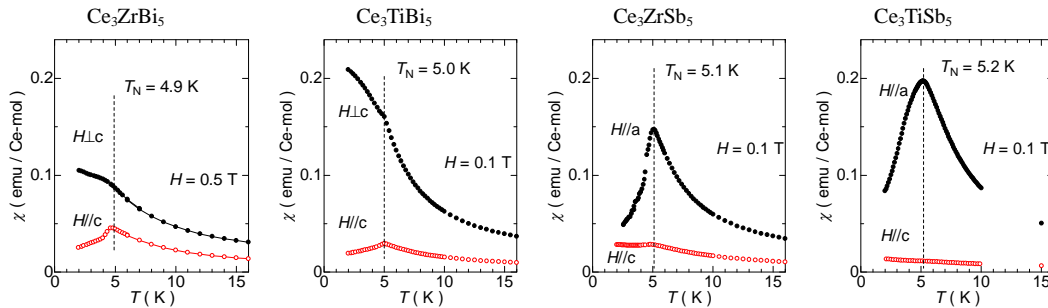


図4 Ce_3TX_5 ($T = Ti, Zr, X = Sb, Bi$)の磁化率の温度依存性。磁気秩序状態での磁化率の温度依存性にBi化合物とSb化合物で顕著な差が見られる。

(2) 秩序状態における磁気異方性

Ce_3TX_5 ($T = Ti, Zr, X = Sb, Bi$)

図4に示すように Ce_3TSb_5 の反強磁性相における磁化率は、多くのCe化合物と同様に磁化容易軸において反強磁性転移温度以下で磁化率の減少が観測される。一方、 Ce_3TbBi_5 の反強磁性状態では磁気困難軸の磁化率が温度の降下に伴って小さくなる。これは先に述べたTiを含む系だけの特徴ではなくZrを含む系にも共通していた。Ceサイトに空間反転中心がなくジグザグ鎖を形成することがこの系の特徴であるが、この場合、Ceのf電子とSbおよびBiのp電子との混成状態における大きなスピン軌道相互作用に加えて、Ceイオン間に働くジャロシンスキー守谷相互作用も磁気秩序状態に影響を及ぼすと考えられ、磁気秩序状態の磁気モーメントの向きを歪ませるこの反転対称中心を欠いたイオン間に働く交換相互作用の役割が重要であると考へた。

Nd_3TiX_5 ($X = Sb, Bi$)

Ce化合物に比べc-f混成効果が小さいと思われるNd化合物において、秩序状態の磁気異方性を明らかにした。図5に示すように Nd_3TiX_5 では、通常期待される通り、SbかBiにかかわらず常磁性状態で容易軸となるa軸で反強磁性転移温度以下の顕著な減少が観測されている。 Nd_3TiBi_5 において3 K以下に磁化率の上昇が見られるが、容易軸、困難軸ともに同等の上昇が見られているため、不純物の可能性が考えられ、試料の純良化が課題となっている。 Nd_3TiX_5 の結果より、 Ce_3TbBi_5 に見られる困難軸の秩序相での磁化率の減少はCeの大きな電子間相互作用が大きな役割を果たしていることが分かる。

Nd_3TiBi_5 における電気磁気効果測定の遂行は本研究課題期間中に間に合わなかった。今後の課題であるが、大きなc-f混成効果が期待されるCe化合物と相対するNd化合物の比較は今後の電気磁気効果の定量的な評価に

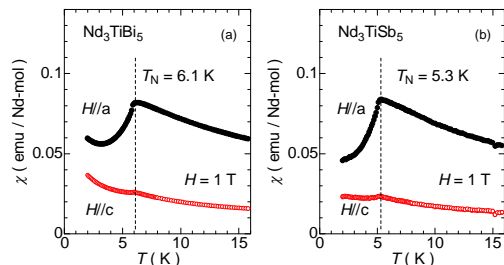


図5 Nd_3TiX_5 ($X = Sb, Bi$)の磁化率の温度依存性

貢献できる課題である。

Ce₃TiX₅ (X = Sb, Bi)の磁気異方性の圧力効果

我々は Ce₃TiBi₅ の磁気秩序状態における磁気異方性に興味を持ち、Ce₃TiX₅ の圧力下磁化測定を ~4 GPa まで行った。Ce₃TiBi₅ では、圧力下において転移温度の変化はみられるものの、秩序状態における磁化率の温度依存性の傾向に関して変化は見られなかった。しかしながら、図 6 に示すように Ce₃TiSb₅ において、圧力印加とともに 2 K の磁化率は増大し、降温とともに磁化率が増強する振舞いが観測された。この増強は 2 GPa を超える圧力からその傾向をさらに強めているように見える。4.39 GPa では、小さな cusp の後、顕著な増大を示すため、Ce₃TiBi₅ の磁化率の温度依存性と類似しているように見える。

磁化曲線の観測についても、同じ圧力で行うことに成功しているため、図 7 にそれぞれの圧力下における磁化曲線を示す。Ce₃TiSb₅ の容易軸の磁化曲線には、多段の磁化ステップが観測されることが特徴的である。この磁化ステップは圧力印加によって、高磁場側にシフトする。2 GPa を超える圧力程度から磁化ステップが徐々に merge しているようである。このステップが merge する振舞いは 2 GPa を超える圧力から急激に始まっているため、圧力媒体の固化に因る一軸圧性の可能性は否定できない。一方で高圧では磁化の初期 slope が顕著に増大している。この振舞いについては、磁化率の温度依存性に観測されるアップターンと整合が取れており、かつ、2 GPa よりも弱い圧力から徐々にその傾向が見られていること、さらに、Ce₃TiBi₅ においてこのような振舞いは観測されていないことから、一軸圧性に因る可能性は低いと考えている。Ce₃TiSb₅ の容易軸の磁化曲線において 4 GPa で顕著になる初期 slope の増大、かつ、反強磁性秩序状態にもかかわらず上に凸となる磁化曲線は Ce₃TiBi₅ の挙動と類似している。圧力下の Ce₃TiSb₅ と Ce₃TiBi₅ の振舞いが類似性を持つことを磁化率の温度依存性および磁化曲線より明らかにした。

図 8 に Ce₃TiSb₅ の磁気相図を示した。反強磁性転移が加圧とともに一旦上昇し、その後減少に転じる Ce 化合物によくみられる磁気相図であるが、注目する点は秩序パラメータが常圧と高圧下で変化している点である。常圧における Ce₃TiSb₅ の磁気構造は中性子散乱実験より c 面内の磁気モーメントが c 軸方向に incommensurate なヘリカル構造をとると報告されている。しかしながら、圧力下磁化測定で示されたのは圧力下で c 面内に向いていた磁気モーメントが c 軸方向に向くことであり、c 面内の磁気モーメントの成分が縮小することである。これは結果的に c 軸方向に incommensurate なヘリカル構造に不安定をもたらすと期待される。実際に Ce₃TiSb₅ の電気抵抗率の温度依存性は反強磁性転移温度において、incommensurate な構造に起因すると考えられる状態密度の減少を示唆する hump 異常が常圧で観測されるが、磁気モーメントが c 軸に傾くと考えられる 2 GPa 近傍で hump 異常が消失する。従って、我々は高圧下では異なる磁気構造を持っていると考えている。

これらの結果より、常圧で Ce₃TiBi₅ とは異なる磁気構造を持つ Ce₃TiSb₅ が圧力下で Ce₃TiBi₅ と類似性を持つことを磁化測定から明らかにした。この圧力による明確な類似性の発達の原因は、原子番号が小さく反スピン軌道相互作用の効果が小さい Ce₃TiSb₅ の秩序状態において圧力によって反スピン軌道相互作用が発達した結果であると提案している。

(3) 非線形伝導現象の観測

PPMS を用いて交流電気抵抗測定およびホール効果の高調波成分の測定を行った。残念ながら、今回の我々の測定精度では電気磁気効果に由来する非線形伝導現象の観測には至らなかった。伝導現象の大きくかつ精度の高い信号を得るためには試料の成形は欠かせないが、315 系特に Bi を含む場合は非常に酸素敏感で高精度測定が困難であった。

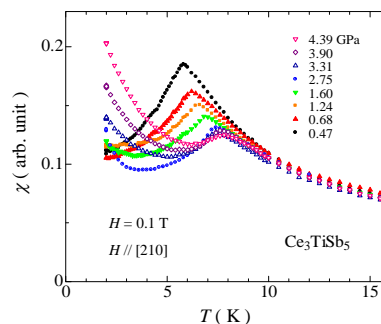


図 6 Ce₃TiSb₅ 磁化率の温度依存性

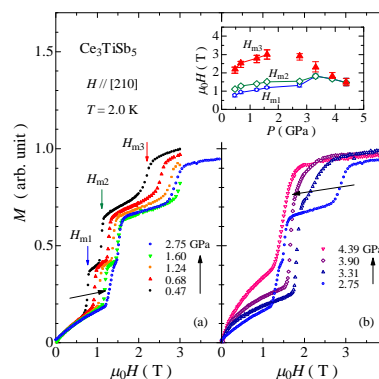


図 7 Ce₃TiSb₅ の磁化曲線の圧力変化

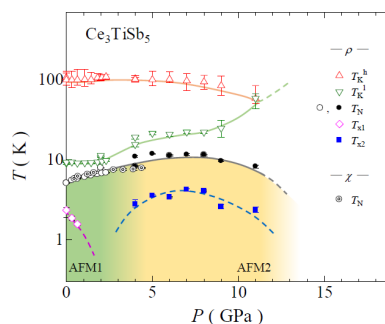


図 8 Ce₃TiSb₅ の温度-圧力磁気相図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Motoyama Gaku, Mutou Tetsuya, Kuninaka Masaki, Adachi Manabu, Yamaguchi Akira, Sumiyama Akihiko	4. 巻 91
2. 論文標題 BCS Relation Pressure Dependence of Tin: High-Pressure Point-Contact Spectroscopy Fabrication Improvement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 064705-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.064705	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinozaki Masahiro, Motoyama Gaku, Nishigori Shijo, Yamaguchi Akira, Yamane Yu, Mutou Tetsuya, Fujiwara Kenji, Manago Masahiro, Miyoshi Kiyotaka, Sumiyama Akihiko	4. 巻 2164
2. 論文標題 Electrical Resistivity Measurements of Antiferromagnetic Compound Ce ₃ TiSb ₅ under Pressure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012040 ~ 012040
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/2164/1/012040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Manago Masahiro, Motoyama Gaku, Nishigori Shijo, Fujiwara Kenji, Kinjo Katsuki, Kitagawa Shunsaku, Ishida Kenji, Akiba Kazuto, Araki Shingo, Kobayashi Tatsuo C., Harima Hisatomo	4. 巻 91
2. 論文標題 Site Split of Antiferromagnetic -Mn Revealed by ⁵⁵ Mn Nuclear Magnetic Resonance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 113701-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.91.113701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakagawa Keita, Shinozaki Masahiro, Motoyama Gaku, Nishigori Shijo, Fujiwara Kenji, Manago Masahiro, Miyoshi Kiyotaka	4. 巻 38
2. 論文標題 Single Crystal Growth of Ce ₃ ZrSb ₅ and Characterization of the Physical Properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011083-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSCP.38.011083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Motoyama Gaku, Shinozaki Masahiro, Nishigori Shijo, Yamaguchi Akira, Aso Naofumi, Mutou Tetsuya, Manago Masahiro, Fujiwara Kenji, Sumiyama Akihiko, Uwatoko Yoshiya	4. 巻 38
2. 論文標題 Transport, Thermal, and Magnetic Properties of Heavy Fermion Compound Ce ₃ TiBi ₅	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011084-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011084	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計41件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 松岡拓也, 大江将樹, 前田匠, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 北川裕之, 西郡至誠
2. 発表標題 RFeAsO _{1-x} Fx(R=La-Sm)系における圧力誘起超伝導の探索III
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本由美, 山本将太, 大江将樹, 松岡拓也, 伊豆原大智, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSe _{1-x} S _x における高圧下直流磁化測定
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大江将樹, 山本将太, 山本由美, 松岡拓也, 前田匠, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSeの圧力下磁場中冷却磁化測定
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊豆原大智, 山本由美, 大江将樹, 前田匠, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSe _{1-x} Tex の高圧下磁化測定
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田匠, 松岡拓也, 大江将樹, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 RFeAsO _{1-x} Fx(R=La, Ce-Sm)の高圧下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生
2. 発表標題 単結晶 ⁵⁵ MnのNMRによる研究
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原賢二, 赤松広一, 磯村楓, 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠
2. 発表標題 Ce系化合物CeTIn ₅ (T=Co, Rh)のNMR/NQR
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊豆原大智, 山本由美, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSe _{1-x} Texにおける高圧下超伝導体積分率
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田匠, 山本由美, 伊豆原大智, 大江将樹, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSe _{1-x} Sxの高圧下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星川昌嗣, 岩永千春, 山根悠, 山口明, 住山昭彦, 本山岳, 木村憲彰, 山本悦嗣, 芳賀芳範, 大貫惇睦
2. 発表標題 重い電子系超伝導体UPt ₃ の高圧下超伝導相の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷口晋亮, 中谷宇伸, 三好清貴, 本山岳, 真砂全宏, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 (Li _{1-x} Fex)OHFeSeにおける圧力下超伝導
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 徳山幸輝, 中谷宇伸, 伊豆原大地, 三好清貴, 真砂全宏, 本山岳, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSe1-xTexの圧力下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中谷宇伸, 前田匠, 三好清貴, 真砂全宏, 本山岳, 藤原賢二, 西郡至誠
2. 発表標題 FeSe1-xSxの高圧下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 入江航, 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生, 播磨尚朝
2. 発表標題 -Mnの圧力下核磁気共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 政田直輝, 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 播磨尚朝
2. 発表標題 反強磁性体Ce3TiSb5の核四重極共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本山岳, 篠崎真碩, 西郡至誠, 山口明, 阿曾尚文, 武藤哲也, 真砂全宏, 三好清貴, 山根悠, 藤原賢二, 住山昭彦, 上床美也
2. 発表標題 奇バリティ多極子候補物質Ce3TiSb5における磁化率の圧力変化
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川敬太, 本山岳, 西郡至誠, 真砂全宏, 三好清貴, 藤原賢二
2. 発表標題 Ceジグザグ鎖構造を持つCe3ZrSb5の圧力下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 播磨尚朝
2. 発表標題 La3TiSb5の核四重極共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 真砂全宏, 入江航, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生, 播磨尚朝
2. 発表標題 核磁気共鳴法による反強磁性 -Mnの磁気構造の温度変化の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 G. Motoyama, T. Mutou, M. Kuninaka, M. Adachi, A. Yamaguchi, A. Sumiyama
2. 発表標題 Pressure dependence of the BCS relation on tin: improvement of method for point contact spectroscopy under pressure
3. 学会等名 IV International workshop on point contact spectroscopy (PCS2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Akira Yamaguchi, Gaku Motoyama, Yu Yamane, Akihiko Sumiyama, Yoshinori Haga, and Kenji Shirasaki
2. 発表標題 Magnetic susceptibility and electrical resistance of ternary uranium intermetallic U ₃ TiGe ₅
3. 学会等名 The 10th International Workshop on the Dual Nature of f-Electrons (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 G. Motoyama, T. Mutou, M. Kuninaka, M. Adachi, A. Yamaguchi, A. Sumiyama
2. 発表標題 Pressure dependence of the BCS relation on tin: improvement of method for point-contact spectroscopy under pressure
3. 学会等名 IV INTERNATIONAL WORKSHOP ON POINT-CONTACT SPECTROSCOPY (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Akira Yamaguchi, Gaku Motoyama, Yu Yamane, Akihiko Sumiyama, Yoshinori Haga, and Kenji Shirasaki
2. 発表標題 Magnetic susceptibility and electrical resistance of ternary uranium intermetallic U ₃ TiGe ₅
3. 学会等名 The 10th International Workshop on the Dual Nature of f-Electrons (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 真砂全宏, 入江航, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生, 播磨尚朝
2. 発表標題 核磁気共鳴法による反強磁性 -Mnの磁気構造の温度変化の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 本山岳, 篠崎真碩, 西郡至誠, 山口明, 阿曾尚文, 武藤哲也, 真砂全宏, 三好清貴, 山根悠, 藤原賢二, 住山昭彦, 上床美也
2. 発表標題 奇バリエィ多極子候補物質Ce ₃ TiSb ₅ における磁化率の圧力変化
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 入江航, 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生, 播磨尚朝
2. 発表標題 -Mnの圧力下核磁気共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川敬太, 本山岳, 西郡至誠, 真砂全宏, 三好清貴, 藤原賢二
2. 発表標題 Ceジグザグ鎖構造を持つCe ₃ ZrSb ₅ の圧力下電気抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 播磨尚朝
2. 発表標題 La ₃ TiSb ₅ の核四重極共鳴測定
3. 学会等名 日本物理学会 2023 年秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Shinozaki, Gaku Motoyama, Shijo Nishigori, Akira Yamaguchi, Yu Yamane, Jun Gouchi, Kenji Fujiwara, Masahiro Manago, Kiyotaka Miyoshi, and Yoshiya Uwatoko
2. 発表標題 Study for Physical Properties and Magnetoelectric Response of Ce ₃ TiSb ₅
3. 学会等名 The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (SCES 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Gaku Motoyama, Masahiro Shinozaki, Keita Nakagawa, Shijo Nishigori, Akira Yamaguchi, Naofumi Aso, Jun Gouchi, Tetsuya Mutou, and Yoshiya Uwatoko
2. 発表標題 Antiferromagnetic Ground State and Heavy Fermion Behavior in Ce ₃ TiBi ₅
3. 学会等名 International Conference on Low Temperature Physics 29th (LT 29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keita Nakagawa, Masahiro Shinozaki, Gaku Motoyama, Shinjo Nishigori, Masahiro Manago, Kiyotaka Miyoshi and Kenji Fujiwara
2. 発表標題 Single crystal growth and magnetic properties of Ce ₃ ZrSb ₅
3. 学会等名 International Conference on Low Temperature Physics 29th (LT 29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahiro Shinozaki, Gaku Motoyama, Shijo Nishigori, Jun Gouchi, Akira Yamaguchi, Yu Yamane, Kenji Fujiwara, Masahiro Manago, Kiyotaka Miyoshi, and Yoshiya Uwatoko
2. 発表標題 Pressure Effect on the Antiferromagnetic Ordered State of Ce ₃ TiSb ₅
3. 学会等名 International Conference on Low Temperature Physics 29th (LT 29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akihiko Sumiyama, Masashi Hoshikawa, Yu Yamane, Akira Yamaguchi, Gaku Motoyama, Noriaki Kimura, Etsuji Yamamoto, Yoshinori Haga, and Yoshichika Onuki
2. 発表標題 Pressure Dependence of Magnetic Penetration Depth of UPT ₃ Derived by DC Magnetization Measurements
3. 学会等名 International Conference on Low Temperature Physics 29th (LT 29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 秋葉和人, 荒木新吾, 小林達生, 金城克樹, 北川俊作, 石田憲二, 播磨尚朝
2. 発表標題 反強磁性 -Mnのゼロ磁場NMRスペクトル測定
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中川敬太, 篠崎真碩, 本山岳, 西郡至誠, 真砂全宏, 三好清貴, 藤原賢二
2. 発表標題 Ce ₃ ZrSb ₅ の単結晶育成及び, 基礎物性の評価
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重い電子系超伝導体UPt3の高圧下超伝導相の研究
2. 発表標題 重い電子系超伝導体UPt3の高圧下超伝導相の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤貴大, 黒田将司, 川勝大地, 山根悠, 山口明, 住山昭彦, 本山岳, 広瀬雄介, 摺待力生, 大貫惇睦
2. 発表標題 空間反転対称性のない重い電子系超伝導体CePt3Siの自発磁化の圧力依存性
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Shinozaki, Gaku Motoyama, Shijo Nishigori, Akira Yamaguchi, Yu Yamane, Tetsuya Mutou, Kenji Fujiwara, Masahiro Manago, Kiyotaka Miyoshi, and Akihiko Sumiyama
2. 発表標題 Electrical Resistivity Measurements of Antiferromagnetic Compound Ce3TiSb5 under Pressure
3. 学会等名 International Conference in Strongly Correlated Electrons systems 2020/21 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠崎真碩, 本山岳, 西郡至誠, 武藤哲也, 三好清貴, 藤原賢二, 真砂全宏, 山口明, 住山昭彦
2. 発表標題 Ceジグザグ鎖構造をもつ反強磁性体Ce3TiSb5の物性測定
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真砂全宏, 本山岳, 三好清貴, 西郡至誠, 藤原賢二, 摂待力生
2. 発表標題 空間反転対称性の破れた反強磁性体CeCoGe3のNMRによる研究
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 星川昌嗣, 石井優海, 木村勇一郎, 岩永千春, 山口明, 住山昭彦, 本山岳, 木村憲彰, 山本悦嗣, 芳賀芳範, 大貫惇睦
2. 発表標題 重い電子系超伝導体UPt3の磁場侵入長の圧力依存性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山口 明 (YAMAGUCHI Akira) (10302639)	兵庫県立大学・理学研究科・准教授 (24506)	
研究分担者	阿曾 尚文 (ASO Naofumi) (40313118)	琉球大学・理学部・教授 (18001)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------